

3. Shulgina Y.V., Starostin A.L., Kostina M.A., Soldatov A.I., Mylnikova T.S. Simulation of acoustic signals in a waveguide of circular cross section // Mechanical engineering, automation and control systems (MEACS): Proceedings of the International conference. – 2016. – Article number 7414918.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д.А. Сорокин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: das97@tpu.ru

MEASURING SYSTEMS AND AUTOMATION OF CONTROL SYSTEMS

D.A. Sorokin

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. *This article provides definitions, structural schemes, types and purpose for automation control and measurement systems at nuclear power plants.*

Система – совокупность нематериальных и материальных, объединённых общими свойствами, признаками, назначением или условиями функционирования, которые при этом образуют единое целое. Автоматизированная система – система, включающая в себя объект управления и технические средства автоматизации. При этом часть функций управления выполняется человеком – оператором. Автоматическая система – система, объединяющая в себе объект управления и технические средства автоматизации, функционирующая при этом без участия человека. Система управления – система, представляющая собой совокупность аппаратных и программных средств и предназначенная для управления технологическими объектами (оптимизации или поддержания его работы). Автоматизированная система, обладающая обратной связью, и/или система, для которой не предусмотрено расширение, называются замкнутыми. Если после сбоя или отказа система способна вернуться к нормальной работе, её называют восстанавливаемой. Работу оператора в рамках автоматизированной системы обеспечивает комплекс программных и технических средств (предназначенных для поиска подготовки, редактирования и выдачи необходимых данных и документов), называемый автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ). Автоматизированная система, предназначенная для управления различными объектами и объединяющая комплекс программных и технических средств, а также различные информационные и организационные средства, называется автоматизированной системой управления (АСУ). Автоматическая система управления – система, представляющая собой комплекс программных и технических средств, предназначенных для воздействия на один или несколько параметров объекта управления для оптимизации или поддержания его работы в определённом режиме, при чём воздействие на процесс или объект осуществляется без участия человека. Если система работает на поддержании заданного значения той или иной регулируемой величины, то она называется системой стабилизации или следящей системой. Если функционирование системы направлено на оптимизацию определённого критерия качества управления, то она называется системой автоматической оптимизации, или системой экстремального регулирования. Комплекс информационных, технических, технологических и программных средств (включающих в себя в том числе проектно-конструкторскую документацию), предназначенный для автоматизации процесса проектирования системы автоматизации, разработки проектно-конструкторской документации, называется системой автоматизированного проектирования (САПР).

Автоматизированные системы управления в зависимости от их назначения и объекта управления делятся на:

- 1) автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП);
- 2) автоматизированную систему управления учреждением;
- 3) автоматизированную систему управления предприятием (АСУП);
- 4) автоматизированную систему управления отраслью (ОАСУ).

Упрощённый порядок обработки информации в АСУ приведён на рис. 1. На первом этапе **1** осуществляется получение информации о состоянии объекта управления в текущий момент. Затем осуществляется первичная обработка данных **2**. На основании полученных данных производится определение параметров объекта управления с учётом возмущений **3**. При сравнении текущих значений параметров с заданными **4**, осуществляется оценка величины рассогласования **5**. После этого производится определение возможных вариантов действия системы для достижения цели управления **6**. Затем принимается решение о выборе варианта решения **7** и выработка управляющего воздействия **8**, выполняемого органами управления **9**.



Рис. 1. Порядок обработки информации в АСУ ТП

Любой объект управления не может существовать отдельно от окружающей среды, в следствие чего на систему оказывают влияние внешние возмущения, которые влияют на результат регулирования. Большинство возмущений нельзя измерить или управлять ими. В общем виде структурная схема системы управления показана на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления

Известно два принципа управления: принцип управления по отклонению и принцип управления по возмущению. В случае управления по отклонению регулирование объекта происходит на основании отклонения регулируемой величины от заданного значения, невзирая на причины, вызвавшие эти отклонения. Такие системы относят к замкнутым системам. На рис. 3 приведена структурная схема системы управления по отклонению.

В случае управления по возмущению результат регулирования зависит от величины возмущения. Такие системы называются разомкнутыми, и их структурная схема представлена на рис. 4.

Применение системы управления по возмущению возможно только в том случае, если эти возмущения можно измерять.



Рис. 3. Структурная схема замкнутой системы

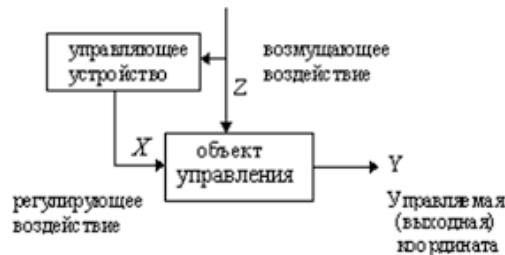


Рис. 4. Структурная схема разомкнутой системы

Тем не менее в разомкнутых системах компенсация всех возможных возмущений, влияющих на объект управления, практически не реализуема, т.к. многие из них нельзя измерить. На отклонение регулируемого параметра от заданного, часто оказывает влияние большое количество различных возмущений (такими возмущениями могут быть изменения атмосферных условий), которые нельзя стабилизировать. В замкнутых системах управления такой недостаток отсутствует, т.к. управление зависит от отклонения регулируемой величины без связи с причинами, его вызвавшими. Но всё же в таких системах трудно добиться необходимой точности регулирования и высокого быстродействия. В связи с этим, самыми эффективными считаются комбинированные системы регулирования, в которых реализованы сразу два принципа управления. Особенностью таких систем является то, что в состав таких систем входит несколько управляющих свойств. Часть возмущений, которые можно измерить, компенсируется одним управляющим устройством, а отклонение регулируемой величины – другим (рис. 5).



Рис. 5. Структурная схема управления с обратной связью и компенсацией возмущений

Известно большое количество классификаций систем управления, одна из которых показана на рис. 6. Закон управления есть некая зависимость, на основании которой производится управление объектом регулирования.

Задачами теории управления являются:

- а) анализ системы управления;
- б) синтез системы управления.



Рис. 6. Классификация систем управления

Наиболее распространены следующие законы управления:

1. Пропорциональный – $W(P)=k_p ((k_p) - \text{коэффициент передачи})$.
2. Интегральный – $W(P)=\frac{1}{T_u P} ((T_u) - \text{постоянная времени интегрирования})$.
3. Пропорционально-интегральный – $W(P)=k_p + \frac{k_p}{T_u P}$.
4. Пропорционально-интегральный-дифференциальный – $W(P)=k_p + \frac{k_p}{T_u P} + k_p * T_d * P$.

Анализ системы управления состоит в определении устойчивости и качества системы управления при закреплённой структуре и зафиксированных значениях настроечных параметров системы. Синтез системы управления состоит в выборе такой структуры и таких значений настроечных параметров, при которых система управления удовлетворяет заданным требованиям по устойчивости и качеству управления. В энергоблоке АЭС производится преобразование вырабатываемой в ядерном реакторе тепловой энергии в механическую энергию вращения вала турбины, преобразуемую в электрическую энергию в электрогенераторе. Основной задачей управления паросиловой установкой является поддержание соответствия потребляемой энергии производимой. Для двухконтурных АЭС несоответствие вырабатываемой в реакторе энергии потребляемой турбиной выражается в изменении температуры насыщенного пара во втором контуре. Такое несоответствие устраняется регулятором мощности реактора, воздействующим на турбину или реактор в зависимости от режима работы энергоблока. Мощность энергоблока определяется заданным значением и может быть постоянной в базовом режиме работы энергоблока или переменной в регулирующем режиме. Т.к. с точки зрения управления электрогенератор является практически безынерционным, электрическая мощность, поступающая в энергосистему равна механической энергии вращения ротора турбины. Энергосистемы, получающие электрическую энергию от энергоблоков АЭС, имеют большое количество потребителей, что вызывает постоянно изменяющуюся величину потребления энергии. Несоответствие количества выработанной энергии, потребляемой оценивается по отклонению частоты в сети от номинального значения. Допускаемое отклонение частоты в энергосистеме от номинального значения, равного 50 Гц, составляет $\pm 0,5$ Гц. Основная задача регулирования турбоустановок заключается в поддержании соответствия между вырабатываемой и потребляемой энергией. Для решения этой задачи применяются регуляторы частоты мощности турбины, а также регулятор мощности энергосистемы. При построении АСУ энергоблоком электростанции необходимо учитывать то, что скорость вращения турбины определяет частота сети, т.е. все турбогенераторы, включенные в энергосистему, имеют одну и ту же частоту вращения. Регуляторы частоты вращения турбогенераторов реализуют пропорциональный закон регулирования. Турбины оснащаются механизмом управления турбины для изменения задания регулятору частоты вращения при изменении частоты сети. Таким образом, АСУ

энергоблоком обязательно включает в себя регуляторы частоты и мощности турбогенератора, давления пара, мощности реактора и другие регуляторы.

Система «Скала-микро» построена на основе микропроцессорных модульных средств управляющей вычислительной техники (МСУВТ) серии В10Р и персональных компьютеров в промышленном исполнении (ККСН «ЭКСПРО»). Эти вычислительные средства были разработаны специально для неё, но в последствии применены на изготовлении комплекса электрооборудования СУЗ для зарубежных АЭС и для третьего блока Калининской АЭС. Каждый зарубежный заказчик требовал специальных испытаний на устойчивость к воздействию вредных внешних факторов помимо общепринятых испытаний, проводимых при квалификации. Благодаря этому на сегодняшний день оборудование, применяемое в составе системы «Скала-микро», успешно прошло такие физические испытания как воздействие морского климата (хлориды – $0,0011 \text{ мг/м}^3$, сульфиты – $0,029 \text{ мг/м}^3$, сернистый газ – $0,006 \text{ мг/м}^3$ и окислы азота – $0,004 \text{ мг/м}^3$), устойчивость к механическим воздействиям от удара падающего самолёта и воздушной ударной волны и стойкость к воздействию плесневых грибов. МСУВТ серии В10Р разработки и изготовления НПП ВНИИЭМ имеют в своём составе микропроцессорные устройства и устройства дискретного и аналогового ввода-вывода, объединённые шиной внутриконтроллерной магистрали (ВКМ). Протокол взаимодействия устройств по шине ВКМ разработан в НПП ВНИИЭМ. Устройства ввода-вывода работают под управлением процессорного устройства (обычно один процессор обслуживает до 16 устройств ввода-вывода). Это процессорное устройство выполняет роль шлюза с одним из стандартных интерфейсов (это может быть ETHERNET либо последовательный интерфейс). Персональные компьютеры в промышленном исполнении ККСН «ЭКСПРО» выполнены с использованием комплектующих изделий фирм Portwell (корпус, объединительная панель, процессорная плата) и Advantech (устройства ввода-вывода). Сборка ККСН «ЭКСПРО» производится в НПП ВНИИЭМ. Это позволяет создавать ЭВМ, максимально соответствующие решаемым задачам. Структура системы «Скала-микро» разработана на основе следующих концептуальных положений:

- 1) все компоненты системы, включая электропитание, реализованы с повышенной надёжностью, все устройства резервированы (дублированы). Это обеспечивает непрерывное функционирование системы «Скала-микро» при сбоях или отказах в отдельных устройствах и частичной потере электропитания;
- 2) система обладает свойством открытости, обеспечивающим возможность расширения объёма контролируемых параметров системы в короткие сроки;
- 3) компоненты системы постоянно ведут самодиагностику, вплоть до типового узла замены, её результаты в удобной форме представляются обслуживающему персоналу. Это минимизирует время восстановления отказавших элементов системы;
- 4) при конструкции системы сохранены старые кабельные связи с объектом. Структура системы «Скала-микро» представлена на рис. 7.

Система реализована в виде локальной управляющей вычислительной сети с четырьмя уровнями обработки информации. Первый уровень (нижний) – уровень приёма и первичной обработки информации, поступающей от индивидуальных датчиков (в дальнейшем этот уровень может именоваться как уровень первичной обработки информации). Второй уровень – уровень диагностической обработки информации с формированием диагностического архива (в дальнейшем этот уровень может именоваться как уровень формирования диагностического архива). Третий уровень – уровень формирования базы данных. Четвёртый уровень (верхний) – уровень представления информации оперативному и ремонтному персоналу. Каждый уровень реализован на основе небольшого количества однотипных устройств, при этом при расширении объёма контролируемой информации возможно добавление одной или

нескольких единиц оборудования, что требует доработки аппаратной базы на заводе-изготовителе.

Таким образом, к числу основных функций, выполняемых системой можно отнести:

- 1) приём информации от внешних систем;
- 2) оперативные и неоперативные расчёты параметров реакторной установки;
- 3) периодическая регистрация предыстории и развития аварийных ситуаций;
- 4) контроль канальных параметров (расход воды, температура газа, мощность ТК, температура графита и т.д.) с представлением информации на мнемотабло;
- 5) запись установок сигнализации;
- 6) контроль оперативного запаса реактивности на стрежнях СУЗ с выдачей на индивидуальное табло, самописец и цифровой прибор;
- 7) представление информации на мониторах рабочих станций отображения;
- 8) передача данных в общестанционную сеть.

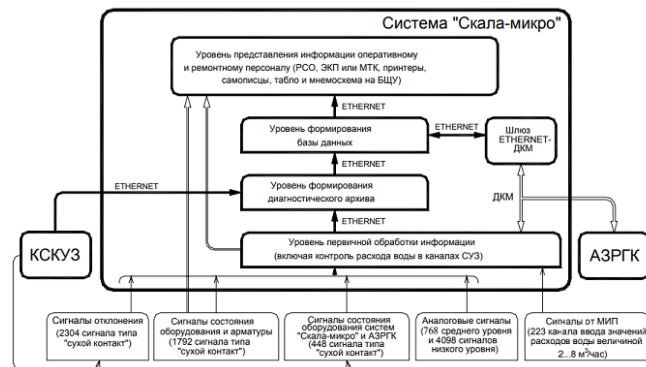


Рис. 7. Структура системы «Скала-микро»: АЗРГК – аварийная защита по расходу в групповых коллекторах; БЩУ – блочный щит управления; ДКМ – дистанционная контроллерная магистраль; КСКУЗ – комплексная система контроля, управления и защиты; МИП – магнитоиндукционный преобразователь; МТК – мнемотабло каналов; PCO – рабочая станция оператора; СУЗ – система управления и защиты; ЭКП – экран коллективного пользования

Модернизации систем «Скала» произошла на новых базовых средствах при условии использования существующих на АЭС первичных датчиков локальной автоматики и большей части коммуникационных связей. Отдельные элементы системы «Скала-микро» были внедрены в 2002 г. На первом энергоблоке Курской АЭС, в июне 2004 г. Завершена модернизация второго энергоблока Курской АЭС, в октябре 2004 г. – первого блока ЛАЭС, в октябре 2006 г. – второго блока ЛАЭС. В настоящее время система «Скала-микро» внедряется на третьем блоке Ленинградской АЭС. В результате внедрения системы «Скала-микро» существенно повышены эксплуатационная надёжность и качество контроля энергоблока, в том числе:

- 1) обеспечена толерантность системы к одиночным отказам, включая потерю одного из вводов энергопитания;
- 2) сохранены существующие кабельные присоединения при замене устройств нижнего уровня;
- 3) обеспечен оперативный обмен информацией с новой системой управления и защиты реактора (двухкомплектной КСКУЗ) по цифровому каналу связи;
- 4) обеспечен приём информации непосредственно от датчиков расхода воды в каналах реактора с исключением промежуточных преобразователей;
- 5) существенно повышена оперативность контроля измеряемых параметров – период контроля канальных расходов воды снижен до 2 с (вместо 60), температурных параметров до 4 с (вместо 60), индивидуальных аналоговых параметров до 1 с (вместо 10) и дискретных параметров до 0,5 с (вместо 10);

6) реализован оперативный контроль трёхмерного энергораспределения реактора с циклом 5 с (ранее цикл контроля двумерного энергораспределения составлял 5 мин);

7) реализована развитая система информационной поддержки операторов энергоблока с применением индивидуальных (двухэкранные рабочие станции отображения) и коллективных (экран коллективного пользования) средств предоставления информации;

8) расширен объём и увеличена разрешающая способность системы диагностической регистрации (количество контролируемых параметров увеличено в 2–3 раза, существенно возросла глубина архивирования).

Так, по приёму и сигнализации, а также по функции ведения аварийного архива в проекте заложено время непрерывной работы не менее 20000 ч. Реально, на сегодняшний день, по приёму дискретных параметров получено время более 200 тыс.ч., по сигнализации от внешних систем – более 250 тыс.ч., по вводу аналоговых параметров – 150 тыс.ч., сигнализация параметров поканального контроля на ЭКП – более 200 тыс.ч., ввод расходов – более 200 тыс.ч. Функция оперативного расчёта параметров реакторной установки имеет время непрерывной работы более 70 тыс.ч. (вместо 10 тыс.ч., заложенных в проекте), сигнализация по расчётным параметрам – более 100 тыс.ч. Помимо оценки новых проектных решений, были проведены всесторонняя оценка качества продукции, выпускаемой НПП ВНИИЭМ, и анализ комплектующих изделий. Уже в результате эксплуатации были выявлены недобросовестные поставщики и ненадёжные комплектующие, а также не совсем удачные конструкторские решения. Были проведены необходимые доработки оборудования, уже находившегося на площадке (в первую очередь на Курской АЭС), и увеличен объём приемо-сдаточных испытаний, которые проходит каждая единица продукции, поставляемая на АЭС. К числу основных направлений развития системы можно отнести:

- 1) совершенствование системы температурного контроля;
- 2) переход на автоматический ввод резерва в устройствах нижнего уровня;
- 3) смену сетевого протокола;
- 4) переход на автоматическую загрузку/реконфигурацию системы;
- 5) дисплейное управление управляющими системами нормальной эксплуатации;
- 6) совершенствование технических средств;
- 7) совершенствование программного обеспечения.

Выбывание действующих мощностей в период с 2017 по 2031 гг. практически полностью (это касается не только блоков с реактором РБМК, но и ВВЭР) делает неизбежным бурное развитие атомной энергетики в последующие два-три десятка лет. Опыт, накопленный при создании и эксплуатации системы «Скала-микро», должен быть учтён при разработке комплекса электрооборудования СУЗ нового поколения. Его цифровая часть строится в основном на тех же средствах, что и система «Скала-микро», но при этом последняя гораздо устойчива к изменениям в режиме работы энергоблока и обладает гораздо более развитой системой самодиагностики. Таким образом, основными векторами развития работ по системе «Скала-микро» должно стать повышение качества эксплуатации системы при уменьшении её стоимости с тем, чтобы атомная энергетика в конечном итоге была не только безопасна, но и оставалась эффективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джумаев С.Д., Десятников И.И., Петров А.В. Информационно-измерительные системы нового поколения для энергоблоков АЭС с реактором типа РБМК-1000. Результаты внедрения и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12328278_77384316.pdf
2. Атрошенко Ю.К., Иванова Е.В. Автоматизированные системы управления АЭС [Электронный курс]. – Режим доступа: https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JULIE55/stud_work/tech_izm/books/%D0%90%D0%A1%D0%A3%20%D0%90%D0%AD%D0%A1.pdf